CELDA TRANSFORMADOR DE EXCITACION

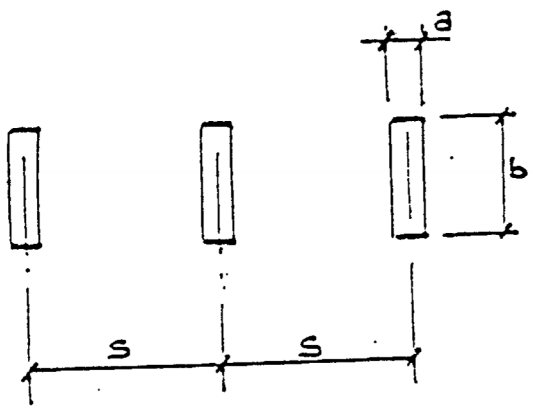
MEMORIA DE CALCULO DE LAS BARRAS DE COBRE Y DE LOS AISLADORES SOPORTES

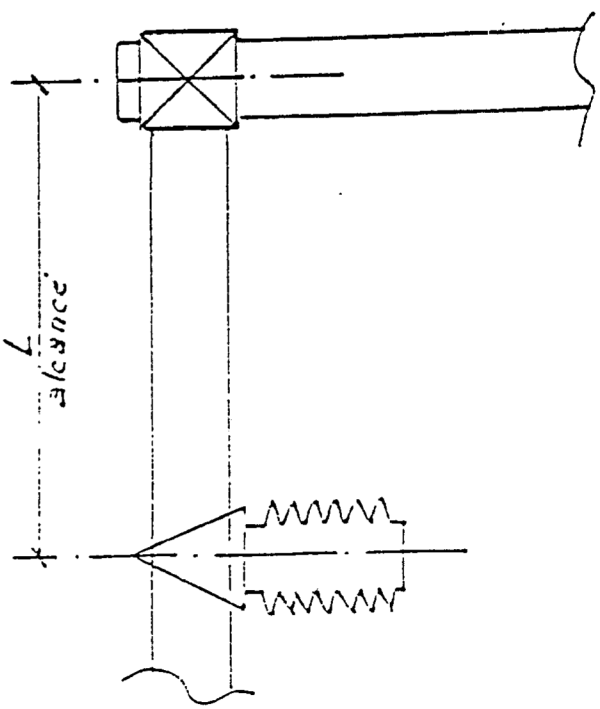
I) BARRAS MEDIA TENSION

1) DATOS

Icc =	Corriente de cortocircuito .	18,03 kA eff
Idyn =	Valor de cresta de corriente dinamica de cortocircuito	52 kAC
In =	Corriente nominal en servicio	35 A

2) UBICACION DE LAS BARRAS





Medidas en cm

a = 1
b = 6,3
S = 25
L = 65

3) RESISTANCIA A LOS ESFUERZOS DE CORTOCIRCUITO

En caso de corto circuito trifasico, se debe tomar en cuenta el valor instantaneo de las corrientes mientras las diferentes fases al momento del corto circuito. La formula es :

$$F = \frac{1,53 \times I^2 dyn \times k \times 10^{-8}}{S}$$

F = en kgF por centimetro de barra
Idyn = corriente dinámica de C/C de cresta = 52 kA
S = espacio mientras las barras : 25 cm
K = coeficiente de forma (ver hoja en anexo)

Calculo de K :

$$\frac{S - a}{a + b} = \frac{25 - 1}{1 + 6,3} = 3,28$$

$$\frac{a}{b} = \frac{1}{6,3} = 0,159$$

Según el anexo 1, el valor de K = 0,98

$$F = \frac{1,53 \times 52^2 . 10^6 \times 0,98 \times 10^{-8}}{25}$$

F = 1,62 kgF por cm

Esfuerzo sobre el aislador

Q = L x F L = Alcance mientras 2 apoyos = 65 cm
Q = 65 x 1,62
Q = 105,3 kg

Aguanto del aislador

El aislador seleccionado tiene un aguanto de 200 daN.
El esfuerzo que resulta del C/C es 105,3 kgF

Aguanto mécanico de las barras

Las barras estan consideradas con apoyo encastrado a una extremidad (por medio de union de barras) y libres a la otra extremidad

$$R = \frac{Mf}{\frac{I}{V}} \quad \text{y} \quad Mf = \frac{F \times L^2}{q}$$

R = Aguanto mecanico de las barras en kg/mm^2
Mf = Momento flector en m.kg según el eje considerado
F = Esfuerzo de C/C = 162 kg para 1 m
L = Alcance = 0,65 m
q = Coeficiente de modo de fijación en los apoyos (en este caso = 8)
$\frac{Ivy}{V}$ = Modulo de resistancia de las barras = 1,05 cm^3

$$Mf = \frac{162 \times 0,65^2}{8}$$

Mf = 8,56 m.kg

$$R = \frac{8,56}{1,05} \Longrightarrow$$

R = 8,15 kg/mm^2

Para un cobre medio duro, la resistencia Rc de ruptura es de 27 kg/mm^2. Con un factor de seguridad del orden de 3, se admitira una resistencia de ruptura de 10 kg/mm^2.

En nuestro caso $R < Rc$

4) FRECUENCIA PROPIA DE RESONANCIA

Las frecuencias propias de vibraciones a evitar para barras sometidas a una corriente de 50 Hz son las frecuencias vécinas de 50 Hz (a saber de 40 a 60 Hz y 90 a 115 Hz)

La formula para el calculo de la frecuencia propia de vibración es :

$$f_r = K \sqrt{\frac{EI}{mL^4}}$$

f_r = Frecuencia en Hz
E = Modulo de elasticidad del cobre = $1,3 \cdot 10^6$ daN/Cm^2
I = Momento de inercia de la section = 0,525 cm^4
m = Masa lineala de la barra = 0,056 daN/cm
L = Longitud mientras 2 apoyos = 65 cm
K = Coeficiente de modo de fijación o sea :

78 para una extremidad libre y la otra encastrada
112 para las 2 extremidades encastradas
49 para las 2 extremidades libres

$$f_r = 78 \sqrt{\frac{1,3.10^6 \times 0,525}{0,056 \times 65^4}}$$

$$f_r = 78 \sqrt{\frac{68,25.10^4}{99,96.10^4}}$$

$$\boxed{f_r = 64,45 \text{ Hz}}$$

5) <u>COMPROBACION DEL AGUANTO DE LAS BARRAS AL CALENTAMIENTO Y A LA CORRIENTE NOMINAL</u>

$$I = \frac{K \times 24,9 (\Theta - t)^{0,61} \times S^{0,5} \times p^{0,39}}{\sqrt{\rho 20 [1 + \alpha (\Theta - 20)]}}$$

(formula de MELSON y BOTH en la revista "COPPER DEVELOPMENT ASSOIATION")

Donde :

I = en Amperios corriente maxi admissible
t = temperatura ambiante = 30 °C
$\Theta - t$ = calentamiento que se admite : 30°C
S = sección de la barra : 6,3 cm^2
p = perimetro de la barra : 14,6 cm
ρ 20 = resistividad a 20°C del cobre : 1,83 $\mu \Omega$/cm
α = coeficiente de temperatura de la resistividad : 0,004
K = coeficiente de condiciones (producto de 6 coeficientes K1, K2, K3, K4, K5, K6)

K1 coeficiente de quantidad para 1 barra	K1 = 1
K2 estado de la superficie	K2 = 1
K3 barra sobre canto	K3 = 1
K4 atmósfera calma en interior	K4 = 1
K5 coeficiente de ventilación (natural)	K5 = 1
K6 coeficiente de clase de corriente	K6 = 1

$K = K1 \times K2 \times K3 \times K4 \times K5 \times K6$

$\boxed{K = 1}$

$$I = \frac{1 \times 24,9 \times 30^{0,61} \times 6,3^{0,5} \times 14,6^{0,39}}{\sqrt{1,83\,[1 + 0,004\,(60 - 20)]}} \Longrightarrow \frac{24,9 \times 7,96 \times 2,51 \times 2,85}{1,46}$$

$\boxed{I = 971\ A}$

La solución eligida (1 barra de 63 x 10 mm) conviene perfectamente para una corriente nominal de 35 A

Estimación del calentamiento de las barras en servicio normal

Formula de René ROLS $\Delta\theta = \theta\text{-}t\left(\frac{I}{I_2}\right)^2$

Donde :

θ-t = calentamiento que se admite : 30°C
I = corriente nominal 35 A
I_2 = corriente que se admite en la barra : 971 A

$$\Delta\theta = 30\ \left(\frac{35}{971}\right)^2$$

$\boxed{\Delta\theta = 0,04\ °C}$

Calentamiento de la barra al passaje de la corriente de cortocircuito mientras 1 segundo

$$\theta cc = \frac{0,24 \times \rho 20 \times I^2 cc \times t}{S^2 \times \delta \times c}$$

Donde :

ρ_{20} = Resistividad a 20°C del cobre : $1,83.10^{-6}\ \Omega$ cm
Icc. = Corriente de cortocircuito : 18,03 kA
t = Tiempo del cortocircuito : 1 s
S = Sección de passaje en cm^2 : $6,3\ cm^2$
δ = Densidad del cobre : 8,8
c = Calor especifica del cobre : 0,0912 kcal/daN°C

$$\theta cc = \frac{0,24 \times 1,83.10^{-6} \times 18,03^2.10^6 \times 1}{6,3 \times 8,8 \times 0,0912}$$

$$\theta cc = \frac{0,24 \times 1,83 \times 325 \times 1}{5,06}$$

$$\boxed{\theta = 28,21\ °C}$$

La temperatura de la barra despues del cortocircuito sera de :

$$\theta = t + \Delta\theta + \theta cc$$

temperatura ambiante	calentamiento en servicio normal	calentamiento en cortocircuito

$$\theta = 30°C + 0,04°C + 28,21°C$$

$$\boxed{\theta = 58,25\ °C}$$

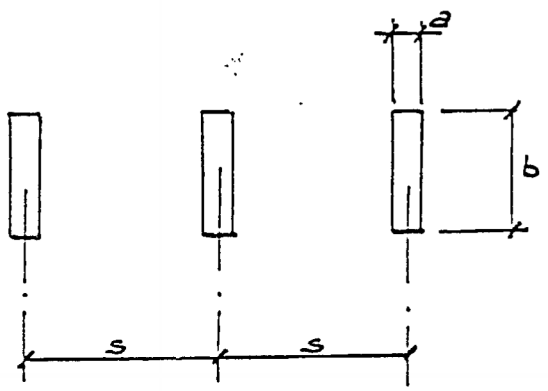
ESTA TEMPERATURA ES MAS INFERIORA A LAS VALORES QUE SE ADMITEN EN LA BARRAS.

II) BARRAS BAJA TENSION

1) DATOS

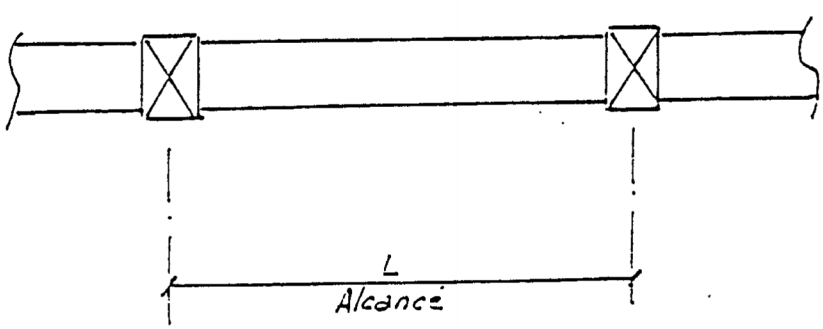
Icc =	Corriente de cortocircuito	18,03 kA eff
Idyn =	Valor de cresta de corriente dinamica de cortocircuito	45 kAC
In =	Corriente nominal en servicio	850 A

2) UBICACION DE LAS BARRAS



Medidas en cm

a = 1
b = 8
S = 7,5
L = 53



3) RESISTANCIA DE LOS ASFUERZOS DE CORTOCIRCUITO

$$F = 1{,}53 \cdot \frac{I^2 dyn \cdot K \cdot 10^{-8}}{S}$$

F en kgF por centimetro de barra
Idyn = Valor de cresta de la correinte dinamica de cortocircuito = 45 kAc
S = Espacio de las barras : 7,5 cm
K = coeficiente de forma (ver hoja anexo 1)

Calculo de K :

$$\frac{S - a}{a + b} = \frac{7{,}5 - 1}{1 + 8} = 0{,}72$$

$$\frac{a}{b} = \frac{1}{8} = 0{,}125$$

Según el anexo 1, el valor de K = 0,87

Calculó del esfuerzo mientras 2 apoyos

$$F = 1{,}53 \times \frac{45^2 . 10^6 \times 10^{-8} \times 0{,}87}{7{,}5}$$

F = 3,59 kgF para uno cm (o 359 kgF para uno metro)

Esfuerzo sobre el aislador

Q = L x F L = Alcante mientras 2 apoyos = 53 cm
Q = 53 x 3,59
Q = 190,27 kgF

Aguanto mécanico de las barras consideradas con apoyo encastrado a las dos extremidades (por medio de union de barras)

$$Mf = \frac{F \times L^2}{q} \quad Mf = \frac{359 \times 0{,}53^2}{12} \Rightarrow Mf = 8{,}40 \text{ m.kg}$$

$$R = \frac{Mf}{\frac{I}{V}}$$

$\frac{I}{V}$ = modulo de resistancia de la barra = 1,333

$$R = \frac{8,40}{1,333} \Longrightarrow R = 6,30 \text{ kg/mm}^2$$

Para un cobre 1/2 duro, la resistencia Rc de ruptura solicitada es 10 kg/mm^2
En nuestro caso R < Rc

4) FRECUENCIA PROPIA DE RESONANCIA

Las frecuencias propias de vibraciones a evitar para barras sometidas a una corriente de 50 Hz son las frecuencias vécinas de 50 Hz (a saber de 42 a 58 Hz)

La formula para el calculo de la frecuencia propia de vibración es :

$$f_r = K \sqrt{\frac{EI}{mL^3}}$$

f = Frecuencia en Hz
E = Modulo de elasticidad del cobre = 1,3 . 10^6 daN/Cm^2
I = Momento de inercia de la section = 0,666 cm^4
m = Masa lineala de la barra = 0,0712 daN/cm
L = Longitud mientras 2 apoyos = 53 cm
K = Coeficiente o sea : 78 para una extremidad libre y la otra encastrada
* 112 para las 2 extremidades encastradas
49 para las 2 extremidades libres

$$f = 112 \sqrt{\frac{1,3.10^6 \text{ x } 0,666}{53^4 \text{ x } 0,0712}} \Longrightarrow 112 \sqrt{\frac{86,58.10^4}{56,18.10^4}}$$

$$\boxed{f \simeq 139 \text{ Hz}}$$

5) COMPROBACION DEL AGUANTO DE LAS BARRAS AL CALENTAMIENTO Y A LA CORRIENTE NOMINAL

$$I = \frac{K \text{ x } 24,9 \, (\Theta - t)^{0,61} \text{ x } S^{0,5} \text{ x } p^{0,39}}{\sqrt{\rho 20 \, [1 + \alpha \, (\Theta - 20)]}}$$ (formula de MELSON y BOTH)

Donde :

I = en Amperios corriente maxi admissible
t = temperatura ambiante = 30 °C
Θ - 20 = calentamiento que se admite : 30°C
S = sección de la barra : 8 cm^2
p = perimetro de la barra : 18 cm
ρ 20 = resistividad a 20°C del cobre : 1,83 ju Ω/cm
α = coeficiente de temperatura de la resistividad : 0,004

K = coeficiente de condiciones (producto de 6 coeficientes K1, K2, K3, K4, K5, K6)

K1 coeficiente de quantidad para 1 barra	K1 = 1
K2 estado de la superficie	K2 = 1
K3 barra sobre canto	K3 = 1
K4 atmósfera calma en interior	K4 = 1
K5 coeficiente de ventilación (natural)	K5 = 1
K6 coeficiente de clase de corriente	K6 = 1

$K = K1 \times K2 \times K3 \times K4 \times K5 \times K6$

$\boxed{K = 1}$

$$I = \frac{1 \times 24,9 \times 30^{0,61} \times 8^{0,5} \times 18^{,39}}{\sqrt{1,83\,[1 + 0,004\,(60 - 20)]}} \Longrightarrow \frac{24,9 \times 7,96 \times 2,83 \times 3,09}{1.46}$$

$\boxed{I = 1187\ A}$

La solución eligida (1 barra de 80 x 10 mm) conviene perfectamente para una corriente nominal de 850 A

<u>Estimación del calentamiento de las barras en servicio normal</u>

Formula de René ROLS $\Delta\Theta = \Theta\text{-}t\left(\frac{I}{I_2}\right)^2$

Donde :

Θ-t	=	calentamiento que se admite :	30°C
I	=	corriente nominal	850 A
I_2	=	corriente que se admite en la barra :	1187 A

$$\Delta\Theta = 30\ \left(\frac{850}{1187}\right)^2$$

$\boxed{\Delta\Theta = 15,4\ °C}$

Calentamiento de la barra al passaje de la corriente de cortocircuito mientras 1 secundo

$$\theta cc = \frac{0,24 \times \rho_{20} \times I^2cc \times t}{S^2 \times \delta \times c}$$

Donde :

ρ_{20}	=	Resistividad a 20°C del cobre	: $1,83.10^{-6}\ \Omega$ cm
Icc	=	Corriente de cortocircuito	: 18,03 kA
t	=	Tiempo del cortocircuito	: 0,5 s
S	=	Sección de passaje en cm^2	: 8 cm^2
δ	=	Densidad del cobre	: 8,8
c	=	Calor especifica del cobre	: 0,0912 kcal/daN°C

$$\theta cc = \frac{0,24 \times 1,83.10^{-6} \times 18,03^2.10^6 \times 1}{8^2 \times 8,8 \times 0,0912}$$

$$\theta cc = \frac{0,24 \times 1,83 \times 325}{51,36}$$

$\theta = 2,78°C$

La temperatura de la barra despues del cortocircuito sera de :

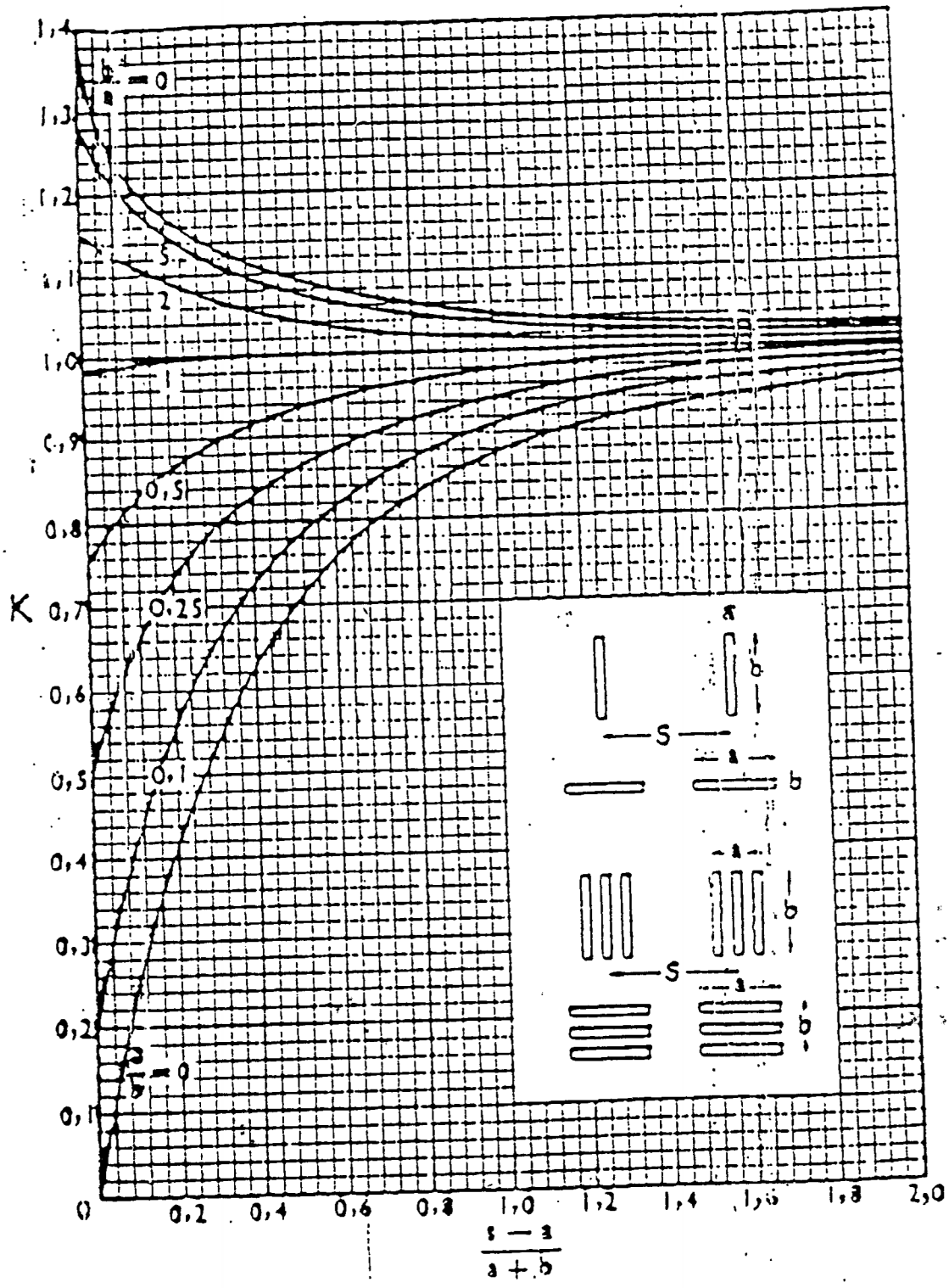
$\theta = t + \Delta\theta + \theta cc$

temperatura ambiante	calentamiento en servicio normal	calentamiento en cortocircuito

$\theta = 30°C + 15,4°C + 2,78°C$

$\theta = 48,18\ °C$

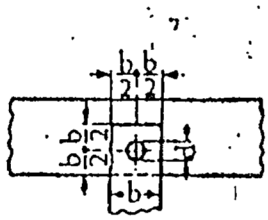
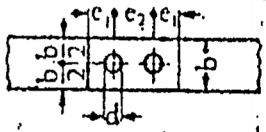
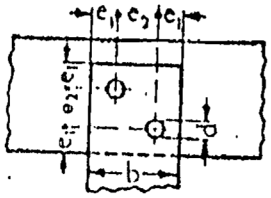
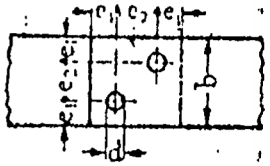
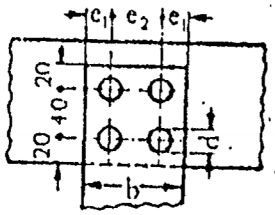
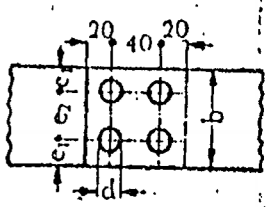
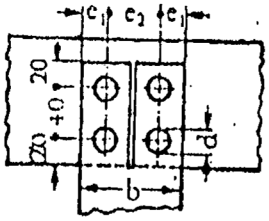
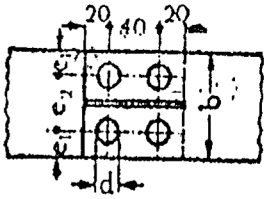
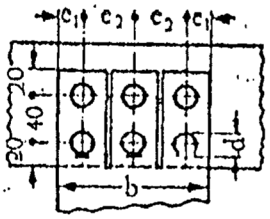
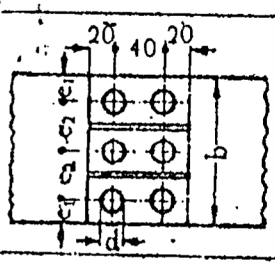
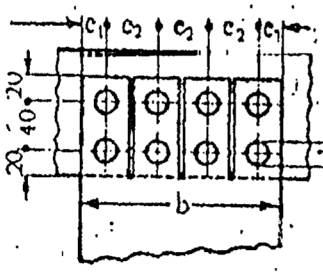
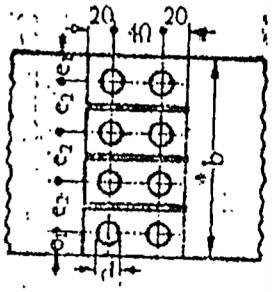
ESTA TEMPERATURA ES MAS INFERIORA A LAS VALORES QUE SE ADMITEN EN LA BARRAS.



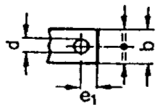
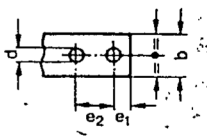
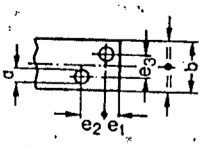
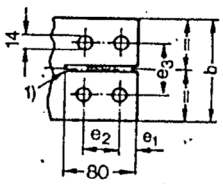
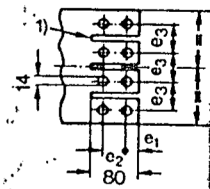
COEFICIENTE DE FORMA.

-Anexo 1-

Bohrungen und Verschraubungen für Stromschienen aus Kupfer oder Aluminium nach DIN 43673

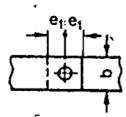
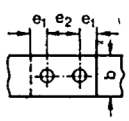
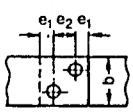
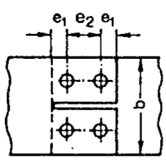
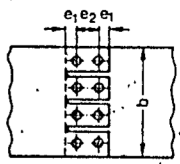
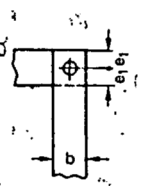
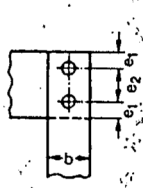
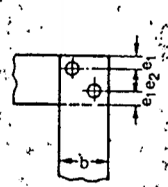
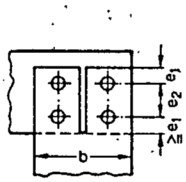
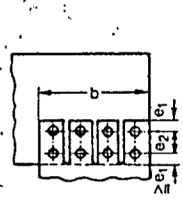
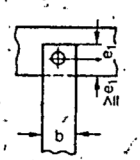
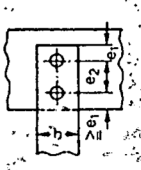
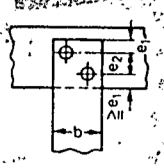
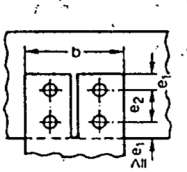
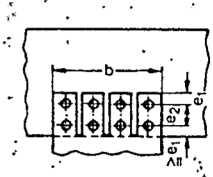
Bohrung der Stromschienen: Abgang	Bohrung der Stromschienen: Überlappung	zulässige Anzahl aneinanderliegender Stromschienen	Schienenbreite b	Bohrung d	Sechskantschrauben DIN 931-51) Ø	Loch-Abstände in mm c_1	Loch-Abstände in mm c_2
		3	12	7	M 6	6	15
		3	15	7	M 6	7,5	15
		3	20	9,5	M 8	10	25
		4	25	11,5	M 10	12,5	30
		4	30	14	M 12	15	32
		5	40	18	M 16	—	—
		6	40	14	M 12	15	32
		6	50	14	M 12	14	22
		6	60	14	M 12	17	26
		8	80	18	M 16	20	40
		8	100	18	M 16	25	50
		8	120	18	M 16	30	60
		8	140	18	M 16	25	45
		8	160	18	M 16	25	55
		8	180	18	M 16	30	60
		8	200	18	M 16	25	50
		8	220	18	M 16	27,5	55
		8	240	18	M 16	30	60

1) Für Verbindungen ab etwa 4000 A Wechselstrom sind unmagnetische Schrauben zu verw.

	Conductor widths				
	12...50	25...60	60	80...120	160...200
Form	1	2	3	4	6
Holes for conductor ends	Fig. 1 	Fig. 2 	Fig. 3 	Fig. 4 	Fig. 5 
Dimensions	b d e_1 12 5.5 6 15 6.6 7.5 20 9.0 10 25 11 12.5 30 11 15 40 14 20 50 14 25	b d e_1 e_2 25 11 12.5 30 30 11 15 30 40 14 20 40 50 14 20 40 60 14 20 40 – – – – – – – –	b d e_1 e_2 e_3 60 14 17 26 26 –	b e_1 e_2 e_3 80 20 40 40 100 20 40 50 120 20 40 60 – – – – – – – – – – – – – – – –	b e_1 e_2 160 20 40 200 20 40 – – – – – – – – – – – – – – –

1) With conductor widths of 120 mm and above, slots are to be provided in the end of one conductor or composite conductor.

Examples of bolted joints for conductors of rectangular section

Straight joints	Fig. 6 	Fig. 7 	Fig. 8 	Fig. 9 	Fig. 10 
Angle joints	Fig. 11 	Fig. 12 	Fig. 13 	Fig. 14 	Fig. 15 
T-joints	Fig. 16 	Fig. 17 	Fig. 18 	Fig. 19 	Fig. 20 

Elongated holes are permissible in the end of one conductor or composite conductor.